

УДК 628.9

З. Я. МОНАСТИРСЬКИЙ, докт.техн.наук, проф., Інститут
електродинаміки НАН України, Харків,
С.С. ОВЧИННИКОВ, докт.техн.наук, ХНАМГ, Харків,
О.О. СІРОБАБА, інж., ХНАМГ, Харків,

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРЯДНИХ І СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА В УСТАНОВКАХ ЗОВНІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

Стаття присвячена аналізу ефективності джерел світла в установках зовнішнього освітлення. Наведена оцінка ефективності випромінювання джерел світла для присмеркового зору, що дозволило точніше оцінити переваги одних джерел світла над іншими, відносно їх використання в установках зовнішнього освітлення.

Статья посвящена анализу эффективности источников света в установках наружного освещения. Дана оценка эффективности излучения источников света для сумеречного зрения, которая позволила точнее оценить преимущества одних источников света над другими, относительно их использования в установках наружного освещения.

The article is devoted the analysis of light sources efficiency in outdoor illumination systems. The estimation of light sources radiation efficiency is given for twilight sight, which allowed more precisely estimating advantages of one light source above other, in relation to their use in settings outdoor illumination.

Зовнішнє освітлення сучасного міста є основним елементом його впорядкування. Установки зовнішнього освітлення різного функціонального призначення створюють унікальний образ міста в темний час доби, формуючи світлове середовище, що забезпечує безпеку і емоційне задоволення мешканців і гостей мегаполісу. Доведено, що ефективне освітлення забезпечує зниження кількості ДТП, зниження кількості кримінальних випадків [1], дає змогу акцентувати архітектурні особливості міста, поліпшує його вигляд [3-5].

Наймасовішими і надзвичайно енергоємними в зовнішньому освітленні є установки для освітлення вулиць і доріг. Застосування сучасних джерел світла (ДС) в цих установках відкриває перспективи зниження енергоспоживання системи освітлення. При цьому важливо, щоб організація вуличного освітлення дозволяла зберігати необхідні умови світлового середовища, що задовольняють запити громадян.

Основними нормованими параметрами зовнішнього освітлення є яскравість й освітленість дорожнього полотна. Відповідно до стандарту рівні яскравості дорожнього полотна визначаються в межах 0,2 - 1,6 кд/м² залежно від категорії вулиці [6]. Рівні яскравості для зовнішнього освітлення приймаються спираючись на відбиваючі властивості поверхні асфальту в суху погоду, тобто за нормальних умов. Згідно проведеним в 2007р. вимірам рівнів яскравості дорожнього полотна створюваних різними освітлювальними установками [10], розподіл яскравості істотно змінюється залежно від різних погодних умов. Наприклад, у дощову погоду яскравість ділянки поверхні дороги із дзеркальним відбиттям у напрямку лінії зору водія збільшується в порівнянні з яскравістю за нормальних умов, тоді

як яскравість ділянок у темній області дорожнього полотна зменшується. Зростаюча нерівномірність яскравості полотна приводить до погіршення умов видимості. При цьому рівень середньої яскравості мокрого полотна зростає. У сніжну погоду яскравість дорожнього полотна може бути в кілька разів більше, ніж за нормальних умов. Отже, для всіх погодних умов діапазон яскравості оточення не виходить за межі в $0,01 - 5 \text{ кд/м}^2$ і відноситься до області функціонування присмеркового зору.

Подальший аналіз показав, що в зовнішньому освітленні найбільша потреба - 41% - відповідає ДС з світловим потоком від 5,0 до 10,0 клм, 27% - з потоком від 2,5 до 5,0 клм, і всього 12% - з потоком понад 10,0 клм [5]. Ці цифри відповідають потребам створення високоякісних освітлювальних установок, що повністю відповідають умовам забезпечення необхідного рівня видимості. На жаль, у ряді випадків потреба визначається не тільки нормами і якістю освітлення, але і обмежується фінансовими можливостями споживача. З іншого боку, сучасні ДС, крім високої вартості, володіють і вищою світловою віддачею, що дозволяє скорочувати витрати на експлуатацію освітлювальної установки.

Сьогодні наймасовішими ДС, що використовуються в зовнішньому освітленні, є натрієві лампи високого тиску (ДНаТ), набувають розвитку металогалогенні лампи (МГЛ) та лампи ртутні дугові (ДРЛ). Крім того, останнім часом все більш перспективними для зовнішнього освітлення стають світлодіодні джерела світла (СД). Основні характеристики вищеперелічених ДС наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики ДС

Найменування	Потужність, Вт	Світлова віддача, лм/Вт	Термін служби, тис. г.	Світловий потік, клм
ДРЛ	125 - 1000	50 - 60	12 – 18	6 - 60
МГЛ	175 - 3500	70 - 90	8 – 10	12 - 315
ДНаТ	50 - 400	90 - 120	10 – 12	4,5 - 48
СД	40 - 120	70 - 150	50 – 60	2,8 - 18

Порівняльний аналіз характеристик ДС показує, що практично всі вони задовольняють вимогам більшості зовнішніх освітлювальних установок. Доцільно використовувати ДС з більшою світловою віддачею, проте при цьому слід враховувати особливості відтворення кольорів в умовах їх використання. Для освітлення скверів, парків і бульварів, а також пішохідних зон, найбільш ефективними з економічної точки зору ДС є ДНаТ, проте використання МГЛ і СД виглядає все більш перспективним.

Оскільки нормованим показником є яскравість дорожнього покриття, тому важливо оцінити не тільки світлову віддачу ДС, але і спектральну щільність яскравості освітленої поверхні. Дорожнє покриття, представлене в основному асфальтом і бетоном має селективні властивості відбиття [5, 8].

Спектральний склад випромінювання, що генерується ДС (1) і відбивається від ділянки асфальту в нормальних умовах (2), представлений на рис. 1. Довжина хвилі λ в нанометрах (нм), спектральна щільність випромінювання $\varphi_e(\lambda)$ в Вт/нм.

Сьогодні, при оцінці зовнішнього освітлення, використовують світлові величини, встановлені для світлоадаптованого ока. Для цього застосовують нормалізовану функцію відносної спектральної світлової ефективності випромінювання для денного зору $V(\lambda)$, яка узгоджена Міжнародною комісією по освітленню (МКО) та приводиться в вигляді таблиці в світлотехнічних довідниках. Проте при малих рівнях яскравості функція відносної спектральної світлової ефективності випромінювання для зорового апарату зазнає значні зміни в порівнянні з денним зором [3]. Величина найбільш інформативна в прикладному діапазоні адаптації зору – еквівалентна яскравість $L_{ек}$, також базується на функції відносної спектральної світлової ефективності випромінювання, але для прикладного зору $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$. Складність використання функції $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ для розрахунку еквівалентної яскравості полягає в залежності самої функції $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$ від $L_{ек}$. Зміст поняття еквівалентної яскравості полягає в тому, що вона характеризує прикладну світлову ефективність випромінювання, стосовно стандартного випромінювання. Під стандартним мається на увазі випромінювання абсолютного чорного тіла з температурою 2046 К.

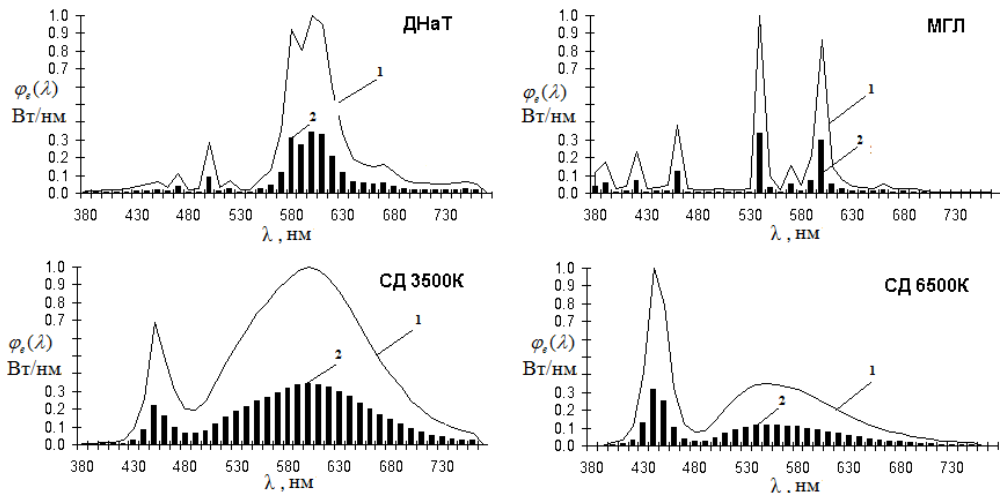


Рис. 1. Еквівалентна яскравість визначається за формулою [2]:

$$L_{ек} = K_{\max}(L_{ек}) \cdot \int l_e(\lambda) V_{ек}(\lambda, L_{ек}) d\lambda, \quad (1)$$

де

$$K_{\max}(L_{ек}) = 683 \cdot \frac{\int l_e^0(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int l_e^0(\lambda) V_{ек}(\lambda, L_{ек}) d\lambda} \quad (2)$$

- функція спектрального складу еталонного випромінювача й еквівалентної яскравості,

$l_e(\lambda)$ - спектральна щільність енергетичної яскравості випромінювання досліджуваного ДС, $l_e^0(\lambda)$ - спектральна щільність яскравості випромінювання зразкового ДС.

Нами розроблений метод розрахунку еквівалентної яскравості [4], в якій функція $V_{ек}(\lambda, L_{ек})$, моделюється з використанням елементарних нормалізованих функцій ефективності випромінювання для трьох кольоросприймаючих

рецепторів людини. Для знаходження еквівалентної яскравості необхідно лише розв'язати рівняння:

$$L_{ек} = K_{\max}(L_{ек}) \cdot [(0,033 \log L_e^3 - 0,091 \log L_e^2 + 0,073 \log L_e + 0,985) L_o + (0,1 \log L_e^2 - 0,194 \log L_e + 0,1) L_n + (-0,0412 \log L_e^3 - 0,025 \log L_e^2 + 0,105 \log L_e - 0,0568) X'] \quad (3)$$

де L_o, L_n, X' - ефективні потоки випромінювання (св.Вт/Вт), що розраховуються за нормалізованими кривими МКО $V(\lambda), V'(\lambda), \bar{x}(\lambda)$ відповідно. Під світловим ватом варто розуміти ефективний потік випромінювання без обліку максимальної світлової чутливості.

Для реальної оцінки ефективності ДС в зовнішньому освітленні (в умовах присмеркового зору) нами проведено порівняння еквівалентної яскравості дорожнього покриття для різних рівнів фотометричної яскравості. Рис. 2 ілюструє значну розбіжність світлової ефективності для розглянутих ДС (1 – ДнаТ, 2 – МГЛ, 3 – СД 3500К, 4 – СД 5600К, 5 – СД 6500К), що відкриває перспективи більш раціонального використання світлової енергії.

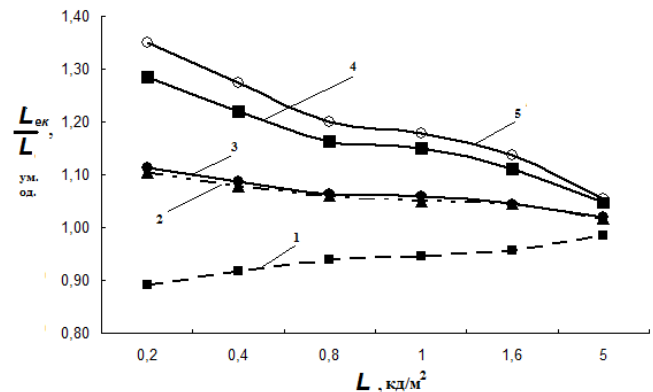


Рис. 2. Розбіжності світлової ефективності для розглянутих ДС

Розрахункові данні щодо можливості економії світлового потоку та електроенергії без втрати якості зорового сприйняття наведені в таблиці 2.

За результатами проведеного аналізу виразно просліджується, що ефективність випромінювання для присмеркового зору значно відрізняється від ефективності випромінювання для денного зору. Це дозволяє точніше оцінити переваги одних ДС над іншими, що надзвичайно важливо в наш час, коли розробляються нові типи ДС. При порівнянні світлової віддачі ДС для присмеркового зору чітко видно, що для ДнаТ вона знижується більш ніж на 5% в порівнянні зі світловою віддачею для денного зору, в той час як для СД 6500К вона підвищується більше ніж на 15% для рівня яскравості 0,8 кд/м².

Із табл. 2 видно, що економія світлового потоку, а відповідно й електроенергії, за умов використання СД та МГЛ при забезпеченні того ж самого зорового сприйняття будуть різними для кожного рівня яскравості. Згідно з розрахунковими даними, для вулиць категорій В при застосуванні СД з колірною температурою 6500 К можливо економити по світловому потоку від 30% до 46%.

Таблиця 2. Економія світлового потоку

Категорія об'єкту за освітленням	Середня яскравість покриття, кд/м²	ДС	Економія за світловим потоком
А-В	1,6 - 0,8	ДнаТ	(-4%) - (-11%)
		МГЛ	9% - 23%
		СД 3500	9% - 22%
		СД 4500	16% - 40%
		СД 6500	18% - 46%

Проведений порівняльний аналіз дозволяє сформулювати основні висновки:

1. Встановлено, що найбільш ефективним представленням функції спектральної світлової ефективності для присмеркового зору є апроксимація з використанням трьох функцій нормалізованих МКО: функції спектральної світлової ефективності для нічного $V'(\lambda)$ та денного $V(\lambda)$ зору та координати кольору X' колориметричної системи XYZ.

2. Аналіз відносної ефективності ДС різних типів показав істотні відмінності ефективності цих джерел в умовах зовнішнього освітлення, від їх ефективності в освітлювальних установках, що створюють високі рівні освітленості.

3. Розроблена методика розрахунку еквівалентної яскравості, яка дозволяє спростити оцінку світлової ефективності ДС в умовах їх використання в зовнішньому освітленні й забезпечує можливість розробки фотометрів для вимірювання еквівалентної яскравості.

Список літератури: 1. Справочная книга по светотехнике: справ. / под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. — М. : Знак, 2000. — 972 с. — ISBN 5-87789-0514-4. 2. Мешков, В. В. Основы светотехники Ч. 1. : учеб. — М. : Энергия, 1979. — 368 с. 3. Пойнтер, К. Уличное освещение и уменьшение преступности: выгоды и убытки // Светотехника. — 1999. — № 6. — С. 4-7. 4. Серобаба, А. А. Изменение спектральной световой эффективности излучения при уменьшении яркости как результат перестройки взаимодействия световоспринимающих рецепторов. / А. А. Серобаба, С. С. Овчинников // Светотехника и электроэнергетика. — 2010. - №1. - С. 4-10. 5. Трейдер, Д.А. Оценка экономической эффективности установок дорожного и уличного освещения // Светотехника. — 1995. — № 4-5. — С. 10–12. 6. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. 7. Adrian W., Visibility of targets: Model for calculation. // Lighting Res. Technol. — 1989. - №21: pp. 181-188. 8. Ekrias A., Ylinen A.-M., Eloholma M., Halonen L. Effects of pavement lightness and colour on road lighting performance // Proceedings of the CIE International Symposium on Road Surface Photometric Characteristics: Measurement Systems and Results. Torino. 2008. 9. He Y., System of Mesopic Photometry. / He Y., Bierman A., Rea M., // Lighting Res. Technol. — 1998. — №30: pp. 175-81. 10. Viikary M. Modeling spectral sensitivity at low light levels based on mesopic visual performance. / Viikary M., Ekrias A., Eloholma M., Halonen L. // Clinical Ophtalmology. — 2008. - № 2(1).

Поступила в редколлегию 23.01.2012